

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-068639

(43)Date of publication of application : 12.03.1996

(51)Int.Cl.

G01C 19/66  
H01S 3/083  
H03H 15/00  
H03H 17/02

(21)Application number : 04-800009

(22)Date of filing : 22.04.1992

(71)Applicant : LITTON SYST INC

(72)Inventor : MARK JOHN G  
TAZARTES DANIEL A  
EBNER ROBERT E  
DAHLEN NEAL J  
DATTA NIBIR K

(30)Priority

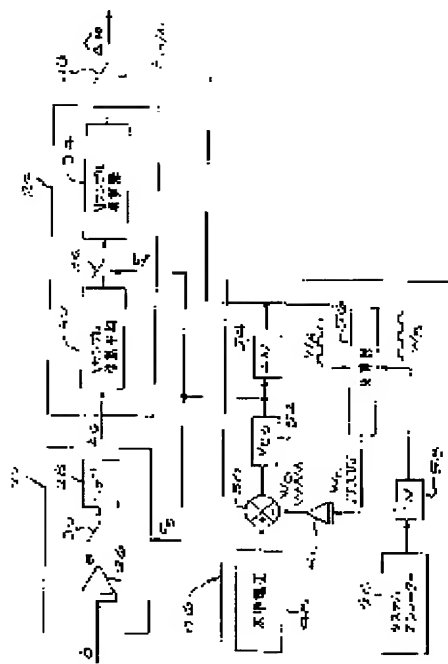
Priority number : 91 690174 Priority date : 22.04.1991 Priority country : US

## (54) HIGH RESOLUTION RING LASER GYRO SCOPE SYSTEM

(57)Abstract:

**PURPOSE:** To provide a multiple oscillator ring laser gyro scope with high resolution to avoid aliasing by using a chirped sampling frequency and a high velocity filter to sample the output of an angular velocity sensor.

**CONSTITUTION:** A measured angle  $\theta$  is input to a gyro scope 22, sampled by using a chirped sampling frequency  $F_s$  (velocity) from a sampling frequency modulator 46 and integrated by angular velocity integrator 26. To make the output of the gyro scope 22 zero with a sampler and a quantizer 30, it is quantized with a delay conversion coefficient  $(1-Z^{-1})$ . The signal  $\Delta\theta$  is input to a high velocity filter 24 and filtrated by a movement averaging filter 32 and then sampled at a velocity  $F_s$  for a high velocity  $N$  sample integrator 34 by a data sampler 36. The output of the high velocity filter 24, as an increment angle  $\Delta\theta$  improved in resolution, is sampled at  $F_s/N$  by a sampler 38, resulting in super high resolution.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-68639

(43) 公開日 平成8年(1996)3月12日

(51) Int.Cl. <sup>8</sup>	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 C 19/66		9402-2F		
H 0 1 S 3/083				
H 0 3 H 15/00		8842-5 J		
17/02	Z	8842-5 J		

審査請求 未請求 請求項の数19 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願平4-800009	(71) 出願人	999999999 リットン システムズ、インコーポレーテッド アメリカ合衆国 90210 カリフォルニア州、ビバリー ヒルズ、ノース クレセント ドライブ 360
(22) 出願日	平成4年(1992)4月22日	(72) 発明者	ジョン ジー、マーク アメリカ合衆国91106 カリフォルニア州バサデナ シーアラ ボニタ レーン 1640
(31) 優先権主張番号	0 7 / 6 9 0 1 7 4	(74) 代理人	弁理士 浅村 皓 (外2名)
(32) 優先日	1991年4月22日		
(33) 優先権主張国	米国 (U S)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 高分解能リングレーザジャイロスコープシステム

(57) 【要約】

【目的】 分解能を向上したジャイロスコープの角度測定の方法及びシステムを提供する。

【構成】 本発明が開示する高分解能リングレーザ ジャイロスコープは、好ましい実施例では、高速フィルタと組み合わせて使用されるサンプル抽出周波数変調位相ロックループ（又は「チャープ」）を含んで構成される。光学的に積分された角速度データを収集し、このデータを累積するために、高速フィルタ（好ましくは移動平均デジタルフィルタ）を使用することによって高分解能が達成される。データ収集過程においては、累積データが周波数変調（「チャープ」）位相ロックループによって設定される速度でサンプル抽出され、デジタルフィルタへのエイリアシングの影響に起因する望ましくないデータを排除する。

1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 リングレーザ ジャイロスコープ及び慣性誘導システムにおいて、検出される角速度情報の分解能を向上するためのシステムであって、光学的に積分された角速度を表す角度増分をデジタル計数の形態で検出するための手段であって、前記リングレーザ ジャイロスコープの出力光学系の位置に配置される前記検出手段、

角度増分情報を積算されたデジタル計数値としてサンプル抽出及び積算するためのデジタルフィルター手段、及び

予め定められた速度で積算されたデジタル計数値をサンプル抽出するための周波数変調サンプル抽出手段であって、前記デジタルフィルター手段における前記積算されたデジタル計数値へのエイリアシングの影響を最小化するサンプル抽出手段、

を含んで成り、

それによって角度及び角速度情報の分解能の向上を達成することを特徴とするシステム。

【請求項2】 請求項1記載のリングレーザ ジャイロスコープから検出される角速度情報の分解能を向上するためのシステムであって、

角度増分情報をサンプル抽出及び積算するための前記デジタルフィルター手段が、

リセット可能なデジタル平均化フィルター、及びNサンプル積算器を更に含むシステム。

【請求項3】 請求項2記載のリングレーザ ジャイロスコープから検出される角速度情報の分解能を向上するためのシステムであって、

前記リセット可能なデジタル平均化フィルターがNサンプル移動平均フィルターであるシステム。

【請求項4】 請求項1記載のリングレーザ ジャイロスコープから検出される角速度情報の分解能を向上するためのシステムであって、

予め定められた速度で積算されたデジタル計数値をサンプル抽出するための前記周波数変調サンプル抽出手段が、

システムオシレータ及び基準電圧発生器、及び

前記電圧発生器及び前記システムオシレータによって制御される電圧制御オシレータを更に含み、

前記電圧制御オシレータが予め定められたサンプル抽出速度を確立するために使用される信号を発生し、それによって、前記システムが、ジャイロスコープのサンプル値のデジタルフィルタリング間に生ずるエイリアシングの影響に対処するシステム。

【請求項5】 請求項2記載のリングレーザ ジャイロスコープから検出される角速度情報の分解能を向上するためのシステムであって、

角度増分情報をサンプル抽出及び積算するための前記デジタルフィルター手段が、

2

フィルター積算器及びNサンプル積算器、

予め定められた長さのサーキュラー バッファを有するメモリ、

角速度情報をサンプル抽出及び量子化し、かつその種の情報を前記メモリからの出力信号と結合させて第1の加算された信号を発生するための手段、及び

前記第1の加算された信号を前記フィルター積算器に供給し、移動平均信号である前記フィルター積算器からの第2の信号を前記Nサンプル積算器へ伝達する手段を更に含み、

それによって、移動平均信号が積算されて、更なる処理のためにマイクロコンピュータに高分解能信号を供給するシステム。

【請求項6】 請求項2記載のリングレーザ ジャイロスコープから検出される角速度情報の分解能を向上するためのシステムであって、

角度増分情報をサンプル抽出及び積算するための前記デジタルフィルター手段が、

前記リングレーザ ジャイロスコープからの角度回転を表す光学的出力信号を量子化サンプル値として量子化及び計数するための手段、

予め定められたサンプル抽出速度で前記サンプル抽出された量子化サンプル値を加算及び積算するための手段であって、前記加算及び積算手段が向上したサンプル値データ信号を供給する加算及び積算手段、及び

前記向上したサンプル値信号を前記量子化サンプル値と結合させるための手段であって、それによって分解能を向上した信号を得て、高分解能の増分角度変化を測定できる手段を更に含むシステム。

【請求項7】 請求項1記載のリングレーザ ジャイロスコープから検出される角速度情報の分解能を向上するためのシステムであって、

前記リングレーザ ジャイロスコープが多数の作動光学モードを有し、少なくとも一対の前記モードがファラデー周波数スプレッドによって相互に分離されるマルチオシレータ リングレーザ ジャイロスコープであって、

前記マルチオシレータ リングレーザ ジャイロスコープが光学的に積分された角速度データを前記角度増分検出手段に供給し、前記角度増分検出手段において前記積分された角速度データが定角増分を表すパルス群に量子化され、前記量子化されたパルス群が一組の基本周波数及び付随する高調波周波数の組によって特徴付けられる

真の積分された角速度データから偏移し、前記高調波周波数が前記マルチオシレータ リングレーザ ジャイロスコープのファラデー周波数によって定められるスペクトルによって前記基本周波数から及び相互に分離されジャイロスコープであり、

前記デジタルフィルター サンプル抽出手段が移動平均フィルターのウィンドウを定め、前記移動平均フィルターのウィンドウが量子化された角速度データを前記基

10

20

30

40

50

本周波数の組から故意に濾波するために予め定められたサンプル抽出ウィンドーであり、前記予め定められたサンプル抽出ウィンドーが前記高調波周波数の基準周波数へのエイリアシングに起因する前記高調波周波数による本質的に無用の量子化角速度データをも濾波するデジタルフィルタサンプル抽出手段であり、

予め定められた速度で積算されたデジタル計数値をサンプル抽出するための前記周波数変調サンプル抽出手段が、更に動作上で前記デジタルフィルタサンプル抽出手段と関連し、前記周波数変調サンプル抽出手段が前記マルチオシレータ リングレーザ ジャイロスコープからサンプル抽出されたデータの前記高調波に起因する前記無用の量子化角速度データの影響を減少させた後に、サンプル値積算デジタル計数値が内挿されて、角度測定の増分値を決定するサンプル抽出手段であり、それによって、増分角度測定の高分解能がリングレーザ ジャイロスコープ システムによって達成されるシステム。

【請求項8】 請求項7記載のリングレーザ ジャイロスコープから検出される角速度情報の分解能を向上するためのシステムであって、前記デジタルフィルタサンプル抽出手段が、アップ/ダウン計数器、高速加算器、前記加算器と動作上関連する積算器、及び前記計数器からサンプル抽出されたデータ出力を前記加算器及び積算器からの積算されたデータの出力と結合させるように構成され、それによって前記移動平均フィルターのウィンドーが定められるマイクロプロセッサを更に含むシステム。

【請求項9】 請求項8記載のリングレーザ ジャイロスコープから検出される角速度情報の分解能を向上するためのシステムにおいて、予め定められた速度で積算されたデジタル計数値をサンプル抽出するための前記周波数変調サンプル抽出手段が高周波サンプル抽出速度信号( $F_s$ )を前記アップ/ダウン計数器及び前記加算器に供給し、かつ前記周波数変調サンプル抽出手段が低周波サンプル抽出速度信号( $F_s/N$ ) (ただし、Nは予め定められた低周波サンプル抽出速度を設定するための数である)を前記アップ/ダウン計数器及び前記積算器をリセットするために供給し、それによって、前記移動平均フィルターのウィンドーが、エイリアシング及び無用の高調波の影響を測定された角度増分から排除するようにデータを濾波し、その結果内挿によって濾波されたデータから高分解能を特徴とする角度測定の増分値を決定するシステム。

【請求項10】 請求項9記載のリングレーザ ジャイロスコープから検出される角速度情報の分解能を向上するためのシステムであって、

高周波サンプル抽出速度( $F_s$ )が10MHz及びN=1000サンプルの値であり、低周波サンプル抽出速度( $F_s/N$ )が10,000KHzであるシステム。

【請求項11】 請求項9記載のリングレーザ ジャイロスコープから検出される角速度情報の分解能を向上するためのシステムであって、

高周波サンプル抽出速度( $F_s$ )が10MHz及びN=5000サンプルの値であり、低周波サンプル抽出速度( $F_s/N$ )が2,000KHzであるシステム。

10 【請求項12】 リングレーザ ジャイロスコープ及び慣性誘導システムにおいて検出される角速度情報の分解能を向上するための方法であって、光学的に積分された角速度を表すデジタル計数値の形態で、前記リングレーザ ジャイロスコープの光路に沿って配置されたヘテロダイン光学信号検出器からの角度増分を検出するステップ、及び角度増分情報をサンプル抽出及び積算し、積算されたデジタル計数値として前記デジタル計数値をデジタル的に濾波するステップ、

20 前記デジタルフィルタ手段においてエイリアシングの影響を最小化するように周波数変調を用いることによって予め定められた速度で前記積算されたデジタル計数値からサンプル抽出するステップを含んで成り、それによって、それによって角度及び角速度情報の高分解能を達成することを特徴とする方法。

【請求項13】 請求項12記載のリングレーザ ジャイロスコープ及び慣性誘導システムにおいて検出される角速度情報の分解能を向上するための方法であって、積算されたデジタル計数値として角度増分情報をサンプル抽出及び積算する前記デジタル計数値の前記デジタルフィルタリングが、

30 予め定められた有限な時間間隔における移動平均フィルターによって発生されたデジタルフィルター ウィンドーを経て前記積算されたデジタル計数値を濾波するステップと、前記予め定められた有限な時間間隔に互って前記積算されたデジタル計数値の和を積算し、かつ前記積算されたデジタル計数値の和の平均値を計算するステップを含む方法。

40 【請求項14】 請求項13記載のリングレーザ ジャイロスコープ及び慣性誘導システムにおいて検出される角速度情報の分解能を向上するための方法であって、前記デジタル計数値の前記デジタルフィルタリングが

量子化サンプル値データとして前記リングレーザ ジャイロスコープから角度回転を表す光学的出力信号を量子化及びサンプル抽出するステップ、

50 予め定められたサンプル抽出速度で前記量子化サンプル値データを加算及び積算して向上したサンプル抽出データ信号を供給するステップ、及び

前記向上したサンプル値データ信号を前記量子化サンプル値データと結合させて、高分解能増分角度変化が測定される高分解能信号を得るステップ

を更に含む方法。

【請求項15】 請求項12記載のリングレーザ ジャイロスコープ及び慣性誘導システムにおいて検出される角速度情報の分解能を向上するための方法であって、周波数変調を用いて予め定められた速度で前記積算されたデジタル計数値をサンプル抽出するステップが、高周波サンプル抽出速度信号( $F_s$ )で予め定められた時間10に亘って前記デジタル計数値を計数するステップ、高周波サンプル抽出速度信号( $F_s$ )で予め定められた時間に亘って前記計数値を加算及び積算するステップ、予め定められた低周波変調サンプル抽出速度( $F_s/N$ )で前記デジタル計数値の前記計数ステップを再開するステップ、予め定められた低周波変調サンプル抽出速度( $F_s/N$ )で加算及び積算されたデジタル計数値をデータプロセッサへ向けてラッチするステップ、及び前記データプロセッサにおいて前記デジタル計数値と前記積算されたデジタル計数値とを結合させて、前記リングレーザ ジャイロスコープ回転の向上した角度測定を導出するステップを更に含む方法。

【請求項16】 請求項15記載のリングレーザ ジャイロスコープ及び慣性誘導システムにおいて検出される角速度情報の分解能を向上するための方法であって、周波数変調を用いて予め定められた速度で前記積算されたデジタル計数値をサンプル抽出するステップが、角度測定に由来するエイリアシング及び無用な高調波の影響を排除するための前記データのフィルタリングを行い、濾波されたデータから内挿によって、高分解能を特徴とする角度測定の変化量を決定するステップ、を更に含む方法。

【請求項17】 請求項16記載のリングレーザ ジャイロスコープ及び慣性誘導システムにおいて検出される角速度情報の分解能を向上するための方法であって、周波数変調を用いて予め定められた速度で前記積算されたデジタル計数値をサンプル抽出するステップが、濾波された積算データに及ぼすエイリアシングの影響を排除するように、前記低周波変調サンプル抽出信号( $F_s/N$ )を発生するために位相ロックループを駆動するステップを更に含む方法。

【請求項18】 請求項17記載のリングレーザ ジャイロスコープ及び慣性誘導システムにおいて検出される角速度情報の分解能を向上するための方法であって、高周波サンプル抽出速度( $F_s$ )が10MHz及び $N=1000$ サンプルの値であり、低周波サンプル抽出速度( $F_s/N$ )が10,000KHzである方法。

【請求項19】 請求項17記載のリングレーザ ジャイロスコープ及び慣性誘導システムにおいて検出される角速度情報の分解能を向上するための方法であって、高周波サンプル抽出速度( $F_s$ )が10MHz及び $N=5000$ サンプルの値であり、低周波サンプル抽出速度( $F_s/N$ )が2,000KHzである方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、リングレーザ ジャイロスコープ即ち角速度センサのヘテロダイン検出器から送出されて電子的に処理されたデータの分解能の向上に係り、更に詳しくは高分解能のマルチオシレータ リングレーザ ジャイロスコープに関するものである。

【0002】

【従来の技術】リングレーザ角速度センサは、活性領域誘導レーザガスを収容する環状コンジットを画定したモノリシック固体ブロック内部のリングレーザで一般に構成される。ジャイロスコープの光路内には、少なくとも2つのレーザビームが環状光路の回りを時計回り及び反時計回りの方向に対向伝搬する。気体媒質平面型リングレーザ ジャイロスコープは20年前に開発され、それ以後信頼できて比較的環境に影響されない慣性回転センサとして発展してきた。平面型リングレーザ ジャイロスコープ(planar ring laser gyrosopes)は、三角形及び四角形のいずれの幾何学形状のものも、商用及び軍用の航空機における慣性航法システム及び飛行制御システムに正規に使用されている。リングレーザ ジャイロスコープが回転輪型機械式ジャイロスコープに優る主たる利点は、性能の永久劣化を生ずることなく比較的強い機械的衝撃に耐える得る能力を有することである。前記及びその他の特徴ゆえに、大抵のリングレーザ ジャイロスコープ慣性航法システムの期待平均故障間隔は以前の機械式ジャイロスコープシステムの数倍も長い。

【0003】平面型リングレーザ ジャイロスコープは、非機械式の真のストラップダウン慣性航法システムの最初の試みであった。回転速度が低いと、ミラーからの後方散乱が振動するビームの一方のエネルギーを逆向き伝搬するビームに結合させ、振動周波数をロックし、その結果、低回転速度ではゼロ回転情報しか導出しなかった。現用の平面構造(planar configuration)を有するリングレーザ ジャイロスコープは、この周知のロックイン現象を避けるために、角速度センサにバイアスを与えるための機械式ディザ機構を使用する。機械式ディザ機構はロックインの影響の低減に非常に有効であり、リングレーザ ジャイロスコープを存続可能な航法用ジャイロスコープにした。しかしながら、効果的な機械式ディザを加えるリングレーザ ジャイロスコープはリングレーザの出力に雑音成分を付加し、ひいては最終的精度を低下させる。また、機械式デ

ィザの存在は、ミラー系或いは全体のいずれのディザであろうとも、完全ストラップダウン慣性航法装置という望ましい目標から逸脱することになる。

【0004】これらの問題点に着目して、代替的バイアス技術として、磁気ミラーに（カー効果を用いて）、或いは直接に利得媒質（ゼーマン効果を用いて）か又はファラデー回転子として知られる固体ガラス素子に磁界を加えるることによる非反転ファラデー効果（non reciprocal Faraday effect）を使用する手段が開発され、該手段を磁界と組み合わせて用いると、一方のビームが逆向きのビームの移相とは反対のファラデー効果移相を生じ、それによって2つの逆方向回転ビームの周波数が分割される。単純な偏光回転に代わって実用的な移相を実現するためには、最適には2組の逆向きの円偏光ビームが所望の結果を得るための単一光路内に存在する。このマルチオシレータ リングレーザ ジャイロスコープの理論の一例は、1989年4月4日レイセオン社（Raytheon Corporation）出願（発明者、テリィ A. ドルシュナー（Terry A. Dorshner）の米国特許第4,818,087号明細書、発明の名称「オルソヘドラル リングレーザ ジャイロ（ORTHOGONAL RING LASER GYRO）」に見られる。マルチオシレータ リングレーザ ジャイロスコープ内の非平面光路（nonplanar ray path）は円偏光され相反的に分割された光を確実に形成する。非平面光路は、偏光を相反的に大きく回転させ、所要の円偏光を生ずる。非平面相反移相は、図2に示す利得曲線Gを有する2つのファラデーバイアス ジャイロスコープをも実現する。非平面光路は、その幾何学的形状によって、光を一方は左円偏光し他方は右円偏光した2つの別々のジャイロスコープに分割する。この分割は相反分割として知られ、典型的には100MHz代の範囲にある。ファラデー素子を非平面型リングレーザ ジャイロスコープのビーム経路に配置することによって、該ファラデー素子に適当な磁界を加えると、各ジャイロの非相反分割が実現される。少なくとも4つのモード、即ち、左円偏光反時計回りビーム（L<sub>a</sub>）、左円偏光時計回りビーム（L<sub>r</sub>）、右円偏光時計回りビーム（R<sub>r</sub>）、及び右円偏光反時計回りビーム（R<sub>a</sub>）、が作られる。時計回りモードと反時計回りモードの間のファラデー分割は約1MHzである。少なくとも4つのミラーが環状共振器経路を形成し、該共振器経路は図2の各利得曲線によって表される2つのジャイロスコープを含む。ミラーのうちの1つは僅かに透光性を有し、光が共振器から離脱して信号処理用の光検出機構に入射できるようにする。ファラデーバイアスを除去するために、信号が電子的に処理される際には、ジャイロスコープのスケールファクタは慣用のリングレーザ ジャイロスコープの2倍になる。ファラデー素子を使用する非平

面幾何学形状のマルチオシレータ リングレーザ ジャイロスコープは、光ビーム経路の部分占める能動媒質を形成するためにガス放電ポンプを用いて現在製造される。

【0005】マルチオシレータ リングレーザ ジャイロスコープは、光学的にバイアスされた（ファラデーセルによって）2つの信号を発生する。一方の信号周波数はファラデー周波数+角速度周波数の1/2；他方はファラデー周波数-角速度周波数の1/2である。ジャイロスコープは、これら2つの信号の位相（積分された周波数）を出力する。それらの位相の差は回転角の増分を表す。しかしながら、出力信号は、ジャイロスコープの位相で2πだけ離れた離散的レベル（即ち、干渉縞）で量子化される。

【0006】マルチオシレータからの2つの出力信号は、同種偏光逆方向伝搬する光学信号ビームをヘテロダイン処理することによって発生する。このような信号はヘテロダイン信号と称せられる。1つ又はそれ以上のヘテロダイン信号が左円偏光ジャイロスコープについて作られ、1つ又はそれ以上のヘテロダイン信号が右円偏光ジャイロスコープについて作られる。これは光学的偏光子か又は他の信号処理機構を用いて行われる。ヘテロダイン信号は強度縞を表す。

【0007】光学的信号縞がヘテロダイン信号によって発生し、一對の光電センサによって検出される。縞が計数され、そのデジタル計数値が、マルチオシレータ リングレーザ ジャイロスコープで感知される角度増分の測定量となる。

【0008】縞のデジタル角度測定量の増分は、リングレーザ センサのスケールファクタによって決まるが、それらは典型的には1パルスにつき1乃至2弧秒の桁である。

【0009】真の角度とパルスによって表示される角度との間の差が誤差であり、量子化誤差又は量子化雑音と称せられる。リングレーザ ジャイロスコープ自体は非常に正確な角度を測定できるが、角速度検出及び検出信号を処理する電子機器による制約が存在する。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】通常、1乃至2弧秒の分解能が航法目的には適当である。しかし、照準及び追跡分野における多数の新用途では、一層向上した分解能を必要とする。これらの用途でのマルチオシレータ リングレーザ ジャイロスコープは、0.01或いは0.001弧秒さえ達する超高分解能出力を必要とする。例えば、地上又は宇宙設置の観測所又は望遠鏡の位置決めのよう、一層高い角度分解能を用いて照準又は追跡することが望ましい多数のこのような用途がある。分解能を微細化するための（特に技術的現状のデジタル技術による）技術が幾つか存在する。このような技術はサンプル値データシステムに依存し、エイリアシング誤差を

生じ易い(用語「エイリアシング」は周期関数信号の重複が存在することを表現するために用いられる。エイリアシングは、連続又は離散的周期関数のデジタルサンプリングに関連する性質である。エイリアシングの主要な影響の一つは、サンプリング速度の整数倍だけ周波数が異なる2つの周期信号を識別できないことである。この意味で、エイリアシングが存在すると、サンプル値データは累積偽信号又は誇張された情報を含むことになる。デジタルフィルターを動作させる場合には、エイリアシングが実質上低減されるか又は消去されなければならない。)

【0011】以前から、リングレーザ ジャイロスコープ(平面型2モード ディザ形式ジャイロスコープ)の分解能を向上させる試みは行われていた。米国特許第4,533,250号明細書(1985年8月6日出願、発明者カラハン(Callaghan)等)には、「環状角速度センサのための読出し装置(READOUT APPRATUS FOR RING ANGULAR RATE SENSOR)」が開示されている。前記特許明細書は、パルスの時間間隔を測定して特定の時刻における角度を内挿によって決定するための技術を開示している。この解決方法は過度の雑音に起因する問題を生ずる可能性をもつ。米国特許第4,791,460号(1988年12月13日出願、発明者バーグストローク(Bergstrom)等、及び発明の名称「環状角速度センサのための読出し(READOUT FOR RING ANGULAR RATE SENSOR)」は、アナログヘテロダイン波形の加重和を用いて別の移相波形を発生し、それによって1サイクルにつき一層多くのゼロ交差を与え、従って一層高い分解能を提供する機構を開示している。この解決方法もまた雑音問題を生じ、しかも比較的正確な加重係数に依存している。

【0012】エンコーダー及びジャイロスコープの出力分解能を向上させるために、他の技術も過去に提案されたことがある。これらの技術は、アナログヘテロダイン電圧を読み取るためのA/D変換器、又はヘテロダイン信号の高調波を作り出すための乗算器を用いた内挿法を含む。しかし、これらの技術は良好な雑音抑制能力を持たず、検出器及び電子回路構成要素の利得、位相、及びオフセットの変動に敏感である。

【0013】非常に精密な角度分解能が要求される用途に向けて、リングレーザ ジャイロスコープの読出し問題を回避する数種の方法が研究された。比較的精密でかつ正確に弧秒の何分の一かの端数まで測定できるような高分解能のリングレーザ ジャイロスコープが求められているのである。

【0014】

【課題を解決するための手段】本明細書では、周波数に  
関係する感度を低減し、エイリアシングを回避して、デ

ィジタル分解能を向上する新規のシステムを開示する。本発明の高分解能システムはサンプル値データのディジタル処理に依存する。本発明は、多数のサンプルを平均化し、それを使用して出力分解能を向上できる高速フィルターの使用を教示する。このようなフィルターは、ジャイロスコープのランダムウォークの高速評価を可能にするためにソフトウェアで使用されていた。高速フィルタリング機構はエイリアシング問題を惹起する。このようなエイリアシングを回避するためには、ジャイロスコープのファラデー周波数に対して特定な関係にあるサンプリング周波数を選ぶことができる。しかし、これはファラデー周波数の変動に関して比較的厳密な制限を課することになる。雑音又は速度の存在下において、エイリアシング問題に対する一層良い解決方法は量子化雑音をランダム化することである。本明細書の発明は更に1ステップのフィルタリング過程を含む。ハードウェア/ソフトウェア機械化によって、ジャイロスコープデータの高速の(2MHzを超える)サンプリング及びフィルタリングが可能になり、それによって実質的な時間遅れを伴わないで極めて効果的な分解能向上が得られる。前記高速フィルタリング技術は多数のサンプルを平均化し、従って良好な誤差抑制能力を有する。機械化は本来ディジタル的であるから、利得、移相、及びオフセットが顕著な誤差の原因になることはない。ファラデーバイアスは周期的な量子化雑音を発生する。量子化誤差の性質(即ち、のこぎり波)からして、バイアス周波数の全高調波が存在する。これらの振幅が僅か1/Nに減衰することは明らかである。従って、高速フィルターが何等の減衰も与えない低周波数帯に紛れ込む強い高調波が確実に存在しない高速サンプリング周波数を選定するように留意しなければならない。

【0015】本発明の分解能向上手段は、任意のファラデーバイアス周波数と共に動作させる一般的な適用可能性を有する分解能向上技術の発達に焦点を置く。この目標を支えるために、実質的にエイリアシング効果を消去するサンプリング周波数チャープ技術が開発されている。チャープは、短時間の周波数変調は可能であるが長時間の周波数安定性を維持する位相ロックループに基づく。従って、ファラデー周波数の変動(又は変化)が予期される場合、しかも/又は適当な周波数選定が不可能な場合には、チャープドサンプリング クロックが使用できる。

【0016】分解能を向上しかつエイリアシングを回避するために、本発明の装置は、ディジタルサンプリングに関して高速フィルター及びチャープドサンプリング周波数を使用する。従って、本発明の特徴は、リングレーザの角速度センサからの出力信号の分解能を向上することである。更に詳しくは、本発明の特徴は、マルチオシレータ リングレーザ ジャイロスコープからの出力信号の分解能を向上することである。また、本発明の特徴



は、このような角速度センサからの出力信号を発生するサンプル値データシステムにおけるエイリアシングを回避することである。

【0017】本発明のその他の目的は、添付の図面を参照して次の説明を理解すれば明らかになる。

【0018】

【実施例】マルチオシレータ ジャイロスコップ装置10の平面図を図1に示す。非常に良好な寸法安定性を有する水晶ブロックのようなレーザブロック11が用いられる。ブロック内部においてミラー12、14、16、及び18の間の閉じた光路（図示せず）内をコンジットが延びている。リングレーザ内部で対向伝搬する光ビームが幾分透明なミラー18を介してヘテロダインセンサ20に抽出され、該センサが本発明によって処理される光学信号を発生する。

【0019】リングレーザ ジャイロスコップは、増分角度( $\Delta\theta'$  S)を出力する角速度積分器である。リングレーザ ジャイロスコップは、増分角度の代表値であるデジタル計数値を出力する。検出機構が光検出機構を横断して通過する干渉縞の数を計数する。これによって、ジャイロスコップの出力（デジタル計数値）が量子化される。一見したところ、このデータの量子化はリングレーザ ジャイロスコップの出力の角度分解能を限定するように映る。これらの増分はジャイロスコップのスケースファクターによって定まり、典型的には1パルスにつき1乃至2弧秒の桁（18 cmのマルチオシレータ リングレーザ ジャイロスコップで1.5弧秒）である。しかし、この有限な分解能が原因となって、ジャイロスコップの角度量子化雑音が発生する。その上、光学的には、マルチオシレータ リングレーザ ジャイロスコップは角速度積分器であり、かつそれ自体は、本質的に無限な分解能に合わせて角度変化を追跡する。従って、得られる量子化は読出し機構の限界である。

【0020】マルチオシレータ リングレーザ ジャイロスコップは全回転角を累積する。しかし、先述のように、リングレーザ ジャイロスコップの読出し機構は一般にヘテロダイン検出器出力の量子化手段及び増分角度を得るために一定時間間隔における遷移(transitions)を計数する手段から構成されるから、この量子化過程はジャイロスコップのスケールファクターに依存する量子化階段(quantization step)に通ずる。この量子化の結果として、絶対角分解能は限定される。しかし、ジャイロスコップ内部では正確な回転角が保持されているから、絶対角度は $+/-0.5$ 量子化量(qanta)の範囲内で常に正確であることに注目すべきである。ジャイロスコップ読出し過程の妥当なモデルを図3に示す。角速度はジャイロスコップへの入力であり、ここではジャイロスコップは角速度積分器26である。次いで測定角 $\theta$ の出力が予め定められた速度 $F_s$ で標本化され（サンプル抽出及び量子化器

30で）、更に $28(1-Z^{-1})$ で表示される遅延変換関数によって、ジャイロスコップ及びヘテロダイン検出システム22の出力が $\Delta\theta$ となるように、電気光学的に量子化された測定信号が処理される。

【0021】マルチオシレータ リングレーザ ジャイロスコップ内では、大きなファラデーバイアスが両方のジャイロスコップに存在する。角速度が抽出されると、バイアスは共通モードで真の回転角速度のみを残して消去される。それでも、両方のジャイロスコップの出力が再結合前に量子化される限りファラデーバイアスを有利に使用できる。バイアスの存在によって、多数のデジタル遷移がサンプリング期間に確実に起こり、それによって高速フィルタ平均が行えるようになる。もし、両方のジャイロスコップ（全てのマルチオシレータは物理的には同一の光路を使用する2つの別個のジャイロスコップを有する）での量子化量が非相関（これは比較器に雑音を注入することによって確実に可能となる）であると仮定すると、再結合においても分解能向上が達成できる。

【0022】増分角度 $\Delta\theta$ がジャイロスコップシステムの出力端22に発生すれば、次いでこの信号が、図3に示すように高速度Nサンプル移動平均フィルタ32及びその後段のNサンプル積算器34から成る高速フィルタ24に与えられる。移動平均フィルタ32で濾波した後、フィルタ32からの出力データが高速積算器34用としてデータサンプル抽出器36で標本化（サンプリング速度 $F_s$ で）される。移動平均の期間が積算期間に等しければ、以下に詳細を説明するハードウェアの好ましい実施例（図6）に示すように本質的にデータ蓄積を必要としない効率的な実施が可能となる。高速フィルタ24の出力は分解能を向上した増分角度 $\Delta\theta$ であり、これはNサンプル積算器34からの出力信号がサンプル抽出器38によってサンプリング速度 $F_s/N$ で標本化された後に得られる。高速フィルタ24は線形であるから、更に単純化できる。2つのジャイロスコップの出力が別々に量子化され、抽出され、次いで濾波される。この場合、単一のフィルタのみが必要であるが、同じ分解能向上が得られる。しかし、再結合前に量子化過程を導入することが非常に重要である。もし、2つのジャイロスコップの出力が光学的に結合され、次いで量子化されると、ジャイロスコップに高角速度が絶えず存在しない限り高速フィルタリング技術は無効になる。このような理由から、マルチオシレータ リングレーザ ジャイロスコップの偏光出力信号の検出のためには電子技術が使用されることが望ましい。

【0023】2つのジャイロスコップの出力の間には、無用の偏光を完全に除く能力がないこと、及び電子的結合（接地、容量等）に起因する相互結合がある。ジャイロスコップによっては、これが1乃至20%に及ぶことがある。ジャイロスコップの出力が矩形波整形されて計



数される場合は、これが和及び差の周波数の等価量となる。差周波数は低周波数になり、濾波されない。従って、高分解能かつ低雑音のためには偏光間の良好な分離が必須である。

【0024】量子化境界を十分な高頻度で横切れば（雑音、運動、又はファラデーバイアスのような要因により）、データを高速フィルターできる。これによって、多数の境界横断の平均化が得られ、分解能を向上する。濾波された出力は図5及び6に示すようにして再構成される。

【0025】システム処理装置又は計算機に適当な高分解能データを確実に伝送するためには、周波数変調器46のようなチャープド サンプリグクロックが長時間的にはシステムオシレータ60にロックすることが必須である。そうしないと、ジャイロスコープのデータに容認できないジッタ及びドリフトが発生する。これは、図3に示すように、位相ロックループ（PLL）サンプリグ周波数変調器46によって行われる。

【0026】図3に示すように、PLLは所望のサンプリグクロックのチャープサンプリグ信号として、電圧制御オシレータ52の出力端において $F_s$ 及び $1/N$ 計数器（divide-by-N counter）54の出力端において $F_s/N$ を本来発生する。チャープの振幅はPLL積分器51の時定数によって簡単に設定される。変調器46の所要の機能を実行するための回路の設計及び構成においては、PLLの電圧制御オシレータ（VCO）52の周波数スプレッドを測定するためにスペクトル分析器を使用できる。前記スペクトル71を

図12に示す。スペクトル71は、所望の中心周波数（CF）周辺の広範囲に亘って周波数が比較的一様に変調されることを示す。従って、VCO52はサンプリグクロック46の信号源として使用できる。図3と共に、図4の信号タイミング図を参照すれば、PLLがシステムオシレータ60（ただし、システム高周波サンプリグ速度 $F_s$ が $1/N$ 計数器58を経て処理され、信号 $W_o = F_s/N$ を発生する）にロックされた後に変調器クロック46のクロック信号が発生し、しかもオシレータから出て分割されたクロック信号 $W_o$ に $1/N$ 計数器54の出力信号 $W_A$ が乗算される（乗算器/相関器56で）。（図4を参照すると、信号 $W_A$ 及び $W_o$ が互いに同相象（in phase quadrature）にあることに留意すべきである。）次いで、波形 $W_A$ と $W_o$ との積、波形 $W_o$ が積分器51の入力端に供給される。図4に示すように、積分器51の出力波形、 $W_o$ は三角波である。次に、この信号、波形 $W_o$ は加算ノード50で基準電圧ソース48と加算される。このソース電圧はシステムオシレータ60の周波数に整合するように変化する。このようにして、サンプリグ周波数変調器が、エイリアシングの回避を助けるために望ましいサンプリグ速度基準を発生する。

【0027】図11に示すように、高速フィルター24の通過帯域はサンプリグ周波数 $F_s$ の各倍数毎に正確に再現される。図10の高調波（例えば、 $1-10$ ）は、マルチオシレータ リングレーザ ジャイロスコープのファラデーバイアスの量子化の結果である。従って、もしファラデー周波数の高調波が通過帯域 $91(F_s, 2F_s, 3F_s, \text{又は} 4F_s)$ の一つにあれば、量子化雑音のエイリアシングが発生する（図11参照のこと）。高速フィルター通過帯域90内のデータのみであることが望ましい。

【0028】低周波数に紛れ込む低次の高調波がないようにサンプリグ周波数を選定することによって、これを回避することができる。高次の高調波（即ち、11次及びそれ以上）が含まれる場合は、エイリアシングは重大な問題とはならない。

【0029】この選定サンプリグ周波数方法は、異なるファラデーバイアスのジャイロスコープを使用するか、或いはファラデー周波数がドリフトする（例えば、温度に伴って）と、分解能向上度が低減するという問題を提起する。

【0030】エイリアシングの影響を確認するために、エイリアシング条件を含むシミュレーションを行った。エイリアシングが実効（RMS）雑音レベルを増大し、データに非常に大きな周期的信号をもたらすことが認められた。上述のエイリアシング現象は角度雑音に関して性能低下を生じ得る。図3のチャープ周波数変調器46は、エイリアシングに関連する問題を回避するのに有用である。変調器46の使用は、ファラデー周波数の値に影響されない分解能向上技術を提供する。サンプリグ周波数を予め定めた範囲に亘って連続的に「チャープする」（即ち、変動させる）ことによって、離散の高調波のエイリアシングが効果的に防止できる。シミュレーション研究によれば、平均値の周辺で三角波的に（波形 $W_o$ のように） $+/-2\%$ 変動するサンプリグ周波数を用いることによって、エイリアシングの影響は実質的に減少するか又は事実上消去されることが分かった。図3の周波数変調技術を用いれば、RMS誤差（平均2乗誤差の平方根）が減少し、エイリアシングが存在する場合に通常認められる大きな離散的な周波数が全て消去されることが分かった。

【0031】図3のクロックチャープ回路機構46の効果を評価するために、発明者等はその設計を試験した。ジャイロスコープの出力（即ち、ファラデー周波数+角速度の $1/2$ 及びファラデー周波数-角速度の $1/2$ ）に相当するように2基の精密周波数合成器を使用した。これによって、発明者等はファラデー周波数を量子化エイリアシングが活発に作用する帯域に同調することができた。固定サンプリグクロックについて多数のこのような試験を実施した後、チャープド サンプリグクロックについてもこれらの試験を再度実施した。得られた

結果を図13及び14に示す。図13はサンプリングクロックをチャープする前の高分解能信号NCが理解し難いことを示しているが、これに対して、図14では同じパラメーターがチャープ即ち周波数変調されたクロック46によって順調に処理される(信号CERを発生して)ことを示す。図から分かるように、変調器46はデータ雑音特性を大幅に改善する。雑音のRMSは大ききで一桁ほど減少し、エイリアシングから発生する非常に強い周期的信号が消去されている。図13及び14は、「CER」を含む周期的高調波信号及び「NC」を含まないチャープ変調器46の使用結果を示す。

【0032】図5及び6を参照すれば、ジャイロスコープの出力信号の特性(即ち、振幅及びオフセット)にあまり影響されないで純粋にデジタルハードウェアを用いて高速フィルタ24が実現でき、しかも、微量の雑音の存在下にあつては一層良好に実際に作動する。高速フィルタ(図3の24のような)はデータを標準化するために使用される。移動平均フィルタ(又は特殊な「有限インパルス応答フィルタ(Finite Impulse Response Filter)」)の作動については、以前に本出願の譲受人と同一の譲受人であつて、1987年1月6日出願、米国特許第4,634,283号、発明の名称「高速フィルタによるレーザジャイロ試験データの量子化誤差を減少するための方法及び装置(METHOD AND APPARATUS FOR REDUCING QUANTIZATION ERROR IN LASER GYRO TEST DATA THROUGH HIGH SPEED FILTERING)」に(本発明の発明目的とは異なる速度で異なる目的のために)開示されたことがある。もし十分に(即ち、ハードウェアで)高速で実行されれば、フィルタは極小時間遅れ及び広帯域幅を提供する。図5の別の実施例では、高速フィルタがフィルタ積算器85とNサンプル積算器87とから構成される。図3の変調器回路46から供給される高速クロック信号F<sub>s</sub>がハードウェア構成部品85及び87を駆動する。1/N計数器69が低周波サンプル抽出信号(N<sub>s</sub>/N)(図3に示すような)をNサンプル積算器87、ラッチ67、及び最終的な高分解能測定用のサンプル抽出器77に供給するために使用される。この代替実施例のハードウェアは、ジャイロスコープのヘテロダイン検出器からのアップ(U)及びダウン(D)計数値を加算ノード73に供給し、+1、0、又は-1の形のパルス(P)の流れをサンプル抽出速度F<sub>s</sub>で供給する。パルス(P)はフィルタ積算器85及びメモリ97へ送ループ

ハードウェア: I = 1乃至Nに対して

S = S + 入力 (ブロック 70)

A = A + S (ブロック 72)

次のIに対して

\*られ、該メモリでは標準化パルス(P)の現在値が長さNの円形バッファ101のアドレス指示器99によって規定された位置にロードされる。そして、Pの現在値からN番目の古いPの値が減算されて(加算ノード75で)フィルタ積算器85へ供給される。この代替実施例ではメモリ97及びそのバッファ101に多量のデータを蓄積する必要があることが理解されよう。累積器85によって作られる出力信号は移動平均フィルタであり、信号がNサンプル累積器87を経て処理されるから、図14に示すように、サンプル抽出器77の出力は分解能を向上した信号をもたらす。

【0033】この機械化は多量のデータ蓄積を通常必要とするが、この蓄積の必要性を解消する技術が開発されている。この技術を図6に示す。高速フィルタは高速計数器70(これは既にあらゆるリングレーザ ジャイロスコープ システムにある)及びレジスタ74付きの高速加算器72を用いて簡単に実現できる。計数器70が、エッジ検出器66及び68によって計数器70に供給されるジャイロスコープのパルス(U及びD)積算する。デッジ検出器66及び68は、関連するディジタイザの状態が変化するたびにパルスを供給する。これが、実効的には、量子化過程となる。(ヘテロダイン検出器、A及びB、は左及び右円偏光ジャイロスコープに対してそれぞれ感度を有する。これらはヘット信号(het signals)61及び63をディジタイザ62及び64に供給する。次いで、ディジタイザ62及び64はエッジ検出器にデジタル状態のヘテロダイン信号を供給する。反復パターンを無くし及び2つのディジタイザ間の相関を避けるために微量の雑音をディジタイザに注入するのが得策である。)通常は、故意に雑音を注入する必要は無く、固有の電子的雑音で十分である。次に計数器70の内容が加算器72によってレジスタ74に加算される。低速(F<sub>s</sub>/N)で、計数器70及びレジスタ74の内容はラッチされ(ラッチ76A及び78Aに)、クリアされる。ラッチされた値はラッチ76A及び78から供給される。同時に、システム計算機は、サンプル抽出器76B及び78Bを介して76A及び78Aのラッチされた値を読み取って、それらを結合して、加算器88を通して濾波された出力を形成するように指令を受ける。高速フィルタのハードウェア部分はゲートアレイ内に完全に組み込める。ソフトウェア部分は極小デューティサイクルのみを必要とする。高速フィルタに対応する方程式は次のようになる。

【0034】

$$\begin{aligned}
 S_1 &= S \quad (\text{ブロック } 78) \\
 A_1 &= A \quad (\text{ブロック } 76) \\
 S &= 0 \\
 A &= 0
 \end{aligned}$$

ソフトウェア:

$$\begin{aligned}
 \text{出力} &= (A_1 - A_{1,old}) + N * S_{1,old} \\
 &\quad (\text{ブロック } 86, 92, 88)
 \end{aligned}$$

$$A_{1,old} = A_1 \quad (\text{ブロック } 82)$$

$$S_{1,old} = S_1 \quad (\text{ブロック } 84)$$

ループ終了

【0035】図6の好ましい実施例において、量子化雑音パワーは上述の場合には、Nに及ぶ係数ほど減少し、Nの平方根に及ぶ効果的な分解能向上をもたらす。1/N計数器80は低速サンプル抽出速度( $F_s/N$ )を図6に示すハードウェアシステムに供給する。マイクロプロセッサは高速フィルタ(計数器70、レジスタ74、及びラッチ76A及び78A)から所要の標本化計数値(S)及び積算計数値(A)を提供され、加算器88の出力端で高分解能増分出力角 $\Delta\theta$ を導出できる。積算計数値Aは1サイクル遅延(82)し、遅延したA信号及び新たなA信号が結合して(加算ノード86で)デルタA信号を形成し、これが加算ノード88に供給される。この積算されたA(デルタ)信号がノード88で標本化計数値S(遅延Z変換器84によって1サイクル遅延している)と結合され、更に利得N(92)を乗算される。高速フィルタを効果的にするためには、平均化時間内に多量の量子化境界交差(quantization boundary crossings)が起こる必要がある。ディザ形式リングレーザ ジャイロスコープでは、これらはディザ運動によって与えられる。マルチオシレータ リングレーザ ジャイロスコープでは、ファラデーバイアスによって境界交差を発生させることができる。しかしながら、ファラデーバイアスは比較的一定であるから、エイリアシングを招く量子化誤差パターンが存在し得る。これが低周波量子化誤差(これは濾波できない)発生する可能性を含む。これを回避するために、一二の方法を用いることができる。好ましい解決策は超高速計数器及び加算器(10MHz或いはそれ以上)を含めることである。高速サンプル抽出によって、量子化誤差中に存在する高次の高調波のみを確実に拾うことができる。高調波の強さは高次では低減し、それらのエイリアシングによる誤差は重大な影響をもたらさない。回路46によって作られる「サンプル抽出周波数変調器」の付加がエイリアシングを減少させて、10MHzより低い周波数を許容可能にする。

【0036】第2の解決策は、サンプル抽出及び加算周波数を低次の高調波のエイリアシングを回避するようにデジタル的に選ぶレート乗算器の使用に関連する。レート乗算器自体は反復パターンを有しているから、サンプリングクロックにランダム又は疑似ランダム状のジッ

タをかけることも必要である。現在では妥当な経費で超高速論理回路が使用可能になるから、第1の解決策のほうが簡単であるので好ましいと考えられる。リングレーザ ジャイロスコープ及びマルチオシレータ リングレーザ ジャイロスコープに関して、上述のように分解能向上技術を開示したが、この技術は、平均化時間に亘って多数の境界交差発現を伴う量子化出力を有するエンコーダ及びその他の装置にも適用できる。

【0037】図7には2つのジャイロスコープ出力のうちの一方の挙動の様態を示す。分解能向上の目的は量子化境界間にある角度の検出を可能にすることである。時間領域において、高速フィルタは、典型的な計算機サンプル抽出間隔(例えば、500msec)間にファラデーバイアスが多数の計数値を発生するという事実を利用する。このような多数の計数値の平均化によって、計数の端数部分の分解が可能になる。

【0038】高速フィルタは周波数領域でも解析できる。図8に示す量子化誤差波形はフーリエ成分に分解できる。(時間領域では、図7は、ジャイロスコープの回転角の真値40対量子化測定されたジャイロスコープ出力42を示す。図8は、時間に対する量子化誤差の大きさ44を示す。)図10に示すような順に減少する振幅を有するファラデー周波数及びその全高調波が表されている。しかし、ファラデー周波数は典型的には非常に高い(1MHz乃至数MHzの桁)、かつ、所要のデータ帯域幅は比較的狭い(1kHzの桁)から、図10及び11に示すように非常に効果的な量子化フィルタを実施することができる。先に教示したデジタル移動平均フィルタがこの機能を遂行できる。このフィルタはFIR(有限インパルス応答)の変種から成り、入力(最終的には)出力されるという望ましい特性を有す。高速で作動させると、このフィルタは有用な周波数では広い通過帯域を保ちながら、高周波の実質的な減衰を生ずる。典型的な周波数応答曲線を図9に示す。図9が5000サンプルに対する周波数応答(94、出力周波数2000Hz)が1000サンプルに対する応答(96、出力周波数10000Hz)よりも狭いことを示していることに注目すべきである。

【0039】チャープド サンプリングクロックを用いて処理した高分解能データのスペクトルは標準量子化雑

音プロフィールを示している。

リングレーザ ジャイロスコープの分解能向上に関する数種の選択的实施例を説明してきた。マルチオシレータ

リングレーザ ジャイロスコープに関して最も簡単で最も信頼できるものは、高速フィルタである。

【0040】好ましい実施例を示したが、前記の好ましい実施例に類似の機能を果たしたり、或いはここで説明した本発明の基本的教示及び原理を実施して、適当な代替策を得るような本発明の実施例に等価な代替案が考えられること明らかである。例えば、図3の変調器46に類似のランダム出力特性を示す任意の周波数変調器は、デジタル的に濾波されるデータのエイリアシングの影響に対処するのに必要な信号源として作動させて有用である。また、本発明の適用方法を主としてマルチオシレータ リングレーザ ジャイロスコープとの関係において説明したが、2モード平面型ディザ形式リングレーザ ジャイロスコープ及び全ての他の形式のリングレーザ角速度センサをも本発明の特許請求の範囲内に包括すると考える。従って、実質的に同等の機能又は構造を有する代替実施は前記の本発明の特許請求の範囲内に包含され

【図面の簡単な説明】

【図1】マルチオシレータとして使用できるリングレーザ ジャイロスコープの平面図である。

【図2】リングレーザ ジャイロスコープの多重モード共振周波数の相反及びファラデー分割の両方を示す、先行技術の非平面型マルチオシレータ リングレーザ ジャイロスコープの利得曲線の模式図である。

【図3】マルチオシレータ センサ電子機器の好ましい実施例、高速フィルタ、及びチャープ制御器のシステムブロック図である。

【図4】図3で識別された信号の出力波形を示すデジタルタイミング図である。

【図5】図3のシステムを実現するハードウェアを図解する本発明の別の実施例を示す概略図である。

【図6】本発明の好ましい実施例において図3のシステム

\* ムを実現するハードウェアを示す概略図である。

【図7】本発明のリングレーザ ジャイロスコープの真の回転角度に対する量子化測定の実績値を比較して示すグラフである。

【図8】本発明のリングレーザ ジャイロスコープにおける量子化に起因する誤差を示すグラフである。

【図9】選定サンプル高速フィルタを使用する高分解能フィルタの周波数応答を表すグラフである。

【図10】図8の量子化誤差を示す周波数スペクトル図である。

【図11】高速フィルタ通過帯及びエイリアシングによる像を示す模式図である。

【図12】図3の周波数変調器46の作動効果を示すために、収集したデータの一例を描いた「スペクトル成分対周波数」のグラフである。

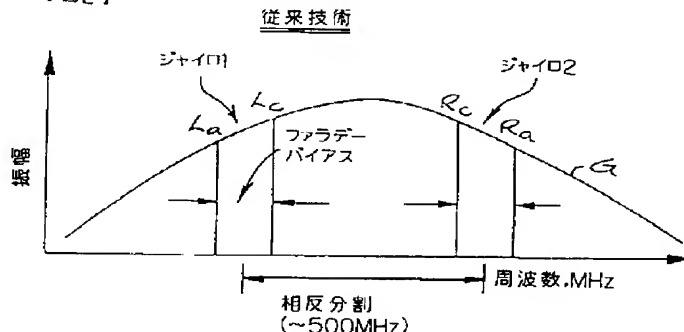
【図13】前におけるエイリアシングを伴う高分解能ジャイロスコープ出力を（パルスをサンプルに対して描いて）表したグラフである。

【図14】図13と同様であるが、サンプル抽出周波数のチャープを行った高分解能ジャイロスコープ出力を（パルスをサンプルに対して描いて）表したグラフである。

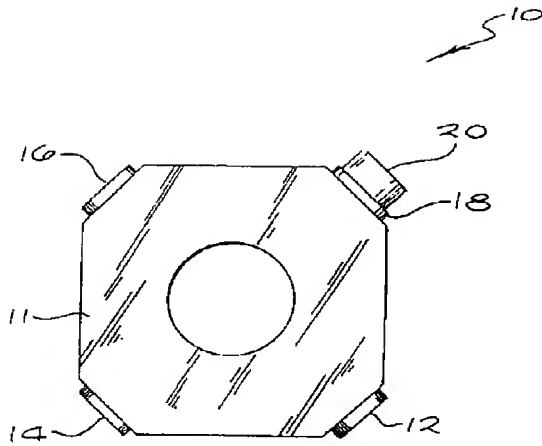
【符号の説明】

- 22 ジャイロスコープ及びヘテロダイン検出システム
- 24 高速フィルタ
- 26 角速度積分器
- 30 サンプル抽出器
- 32 Nサンプル移動平均フィルタ
- 34 Nサンプル積算器
- 36 データサンプル抽出器
- 46 チャープ変調器
- 51 位相ロックループ
- 52 電圧制御オシレータ
- 54、58 1/N計数器
- 56 乗算/相関器
- 60 システムオシレータ

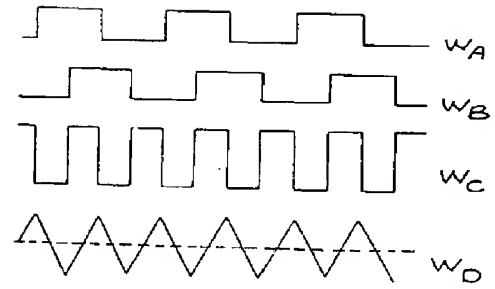
【図2】



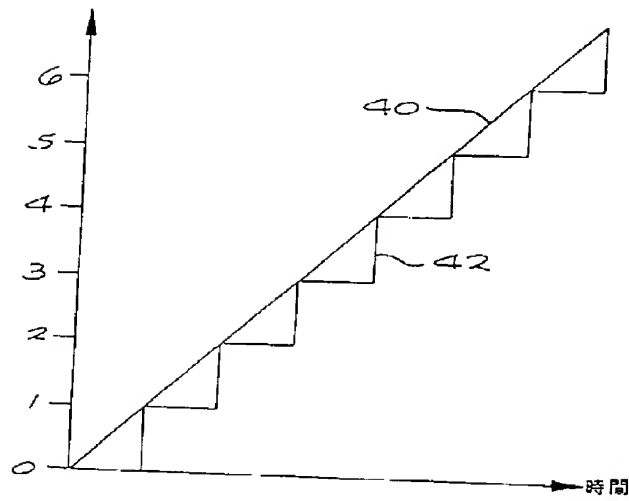
【図1】



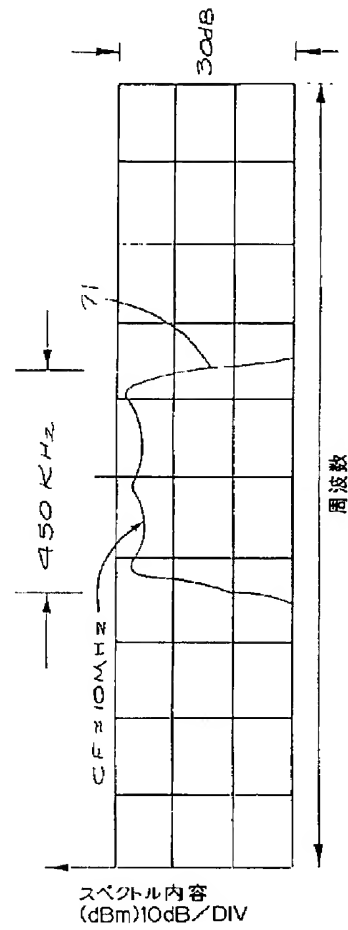
【図4】

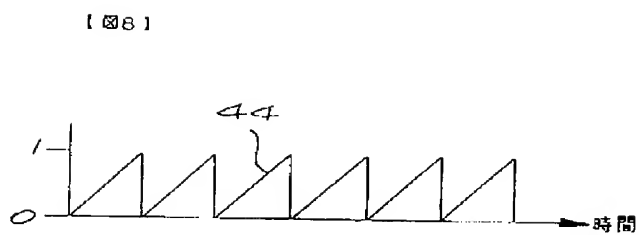
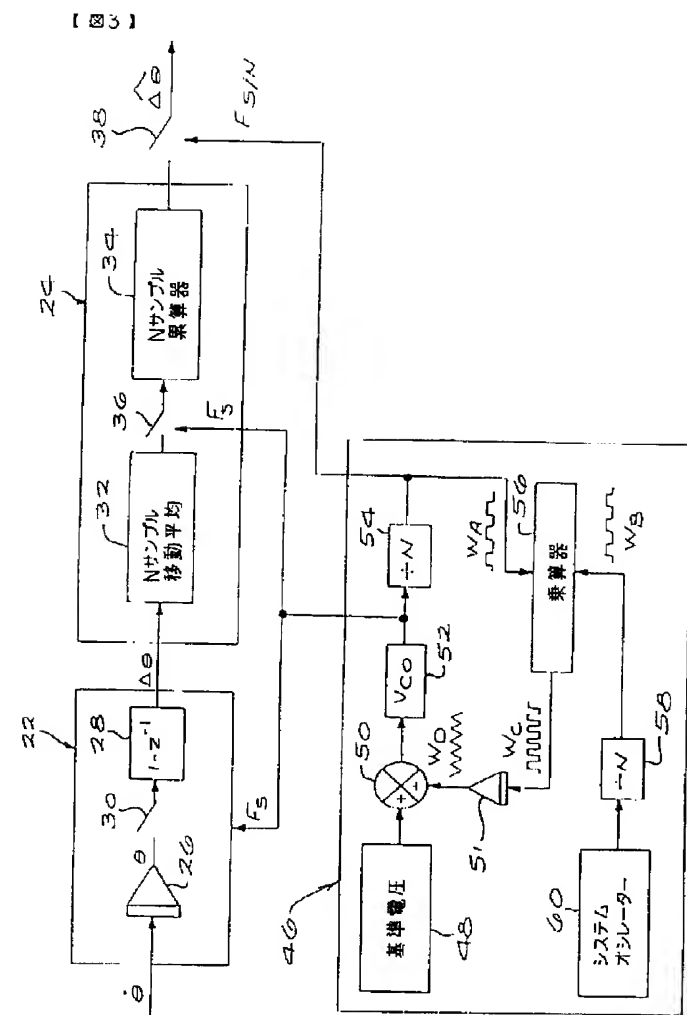


【図7】



【図12】



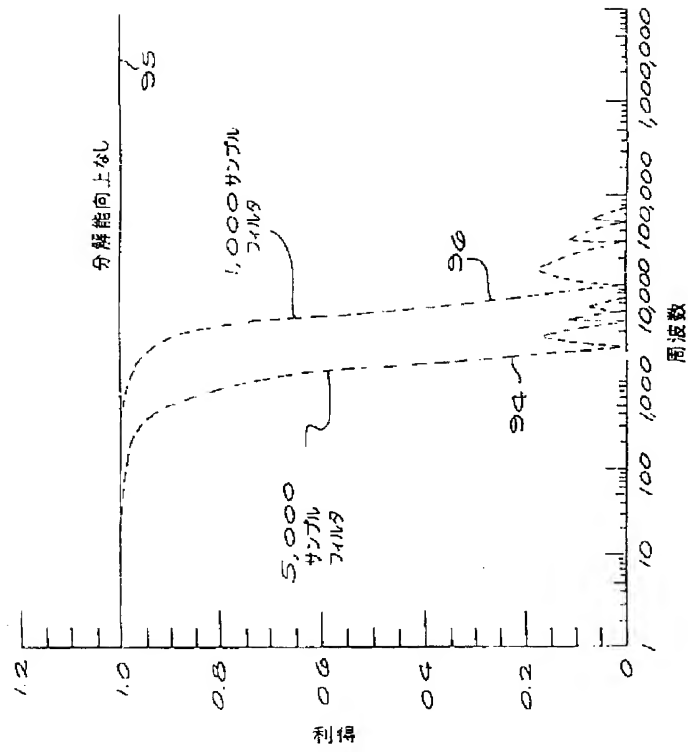


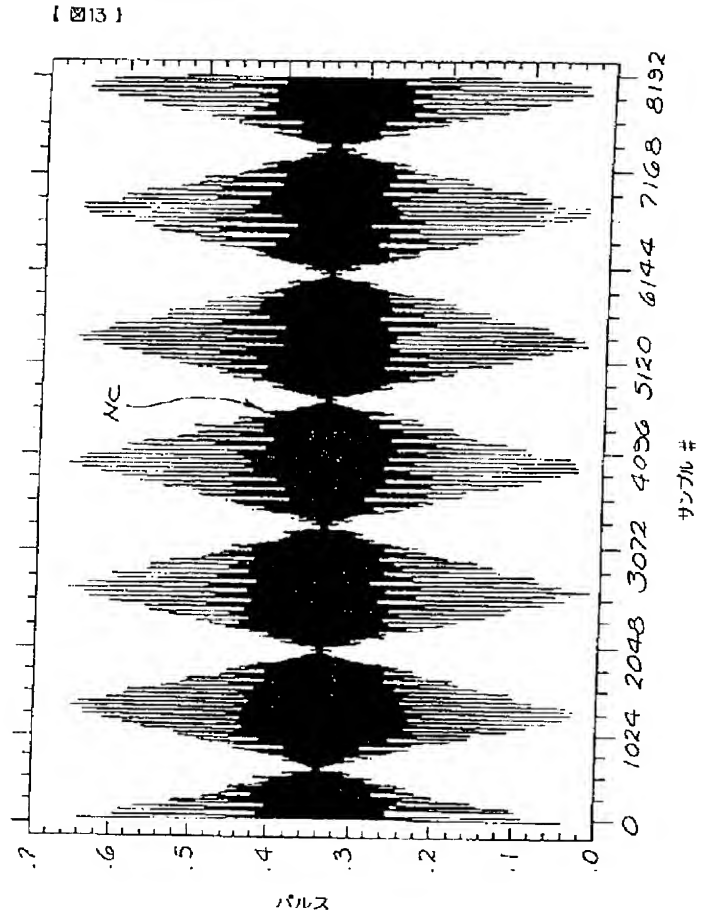




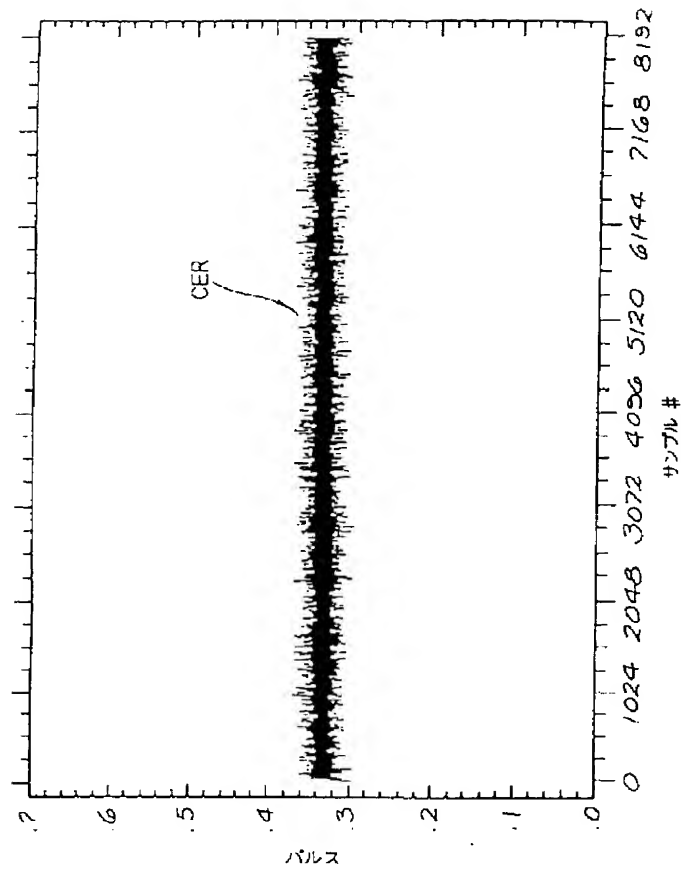
[illegible]

【図9】





【図14】



フロントページの続き

(72)発明者 ダニエル エイ. タザーテス  
 アメリカ合衆国91307 カリフォルニア州  
 ウェスト ヒルズ ギルモアー ストリー  
 ト 23939  
 (72)発明者 ロバート イー. エブナー  
 アメリカ合衆国91356 カリフォルニア州  
 ターザナ アリバ ドライブ 4628

(72)発明者 ネール ジェイ. ダーレン  
 ドイツ連邦共和国7800 フレイブルグ イ  
 ム グラサー 11  
 (72)発明者 ニビアー ケイ. ダッタ  
 アメリカ合衆国91307 カリフォルニア州  
 ウェスト ヒルズ ウッドグレイド レー  
 ン 24632